

مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۵، بهار ۱۳۹۴

وصول مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۲۰

تأیید مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۱۳

صفحات: ۷۴ - ۵۹

## کاربرد تحلیل شبکه (ANP) در بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش در محدوده محور و مخزن سد قلعه‌چای

دکتر شهرام روستائی<sup>□</sup>، لیلا خدائی<sup>□</sup>، دکتر داود مختاری<sup>□</sup>، دکتر خدیجه رضاطبع<sup>□</sup>، فاطمه خدائی<sup>□</sup>

### چکیده

مدیریت بلاای طبیعی نیازمند اطلاعات مکانی، جهت آمادگی در برابر خطرات و کاهش روند آنها می‌باشد. در این زمینه ارزیابی پتانسیل وقوع زمین لغزش در منطقه‌ای که به دلیل وضعیت جغرافیایی و ساخت و سازهای انسانی مستعد لغزش می‌باشد ضروری می‌نماید. سد مخزنی قلعه‌چای واقع در حوضه آبریز قلعه‌چای در شهرستان عجب‌شیر، یکی از این نوع نواحی می‌باشد. اهمیت بررسی ساختگاه سازه‌های مهندسی، بویژه در محل محور و مخزن سدها از دیدگاه خطر زمین لغزش به حدی است که اکنون این مسائل در گروه‌های مهندسیین مشاور بزرگ، در جهان با دقت و در برنامه مطالعات اصلی در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب مشاهده می‌گردد که، عدم توجه به مسأله وجود زمین لغزه‌های قدیمی و یا احتمالی آینده، موجب خواهد شد که در صورت ایجاد سد در محل‌های انتخابی، در اثر وقوع زمین لغزه‌ها در آینده، خسارت‌های مالی و جانی فراوانی به بار آید. در این تحقیق، از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)، یک روش چندمعیاره تصمیم‌سازی برای انتخاب مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در محدوده محور و مخزن سد قلعه‌چای عجب‌شیر استفاده شده است. انتخاب مناطق مستعد برای وقوع زمین لغزش موضوعی پیچیده و نیازمند توجه به عوامل متعددی است. در این پژوهش از چند معیار (شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری زمین، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، طبقات ارتفاعی) برای تعیین مناطق مستعد استفاده شده است. فرآیند تشخیص مناطق مستعد برای وقوع زمین لغزش طی چند مرحله انجام شده است. نتایج نشان داد که فرآیند تحلیل شبکه با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها ۶۷/۳۳ درصد تناسب دارد. همچنین تفسیر ضرایب نشان داد که، معیارهای، کاربری اراضی، جهت شیب، طبقات ارتفاعی نقش مهمی در وقوع زمین لغزش‌های منطقه دارند. کلیدواژه‌ها: سد قلعه‌چای، فرآیند تحلیل شبکه (ANP)، ماهواره لندست، زمین لغزش.

roostaei@tabrizu.ac.ir

Khodaeileila@yahoo. Com

d\_mokhtari@tabriz.acir

Kh-Rezatab@tabriz.ac.ir

□- استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز

□- کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز (نویسنده مسؤول)

□- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز

□- استادیار جغرافیا، دانشگاه آزاد تبریز

□- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز

## مقدمه

مدیریت بلایای طبیعی نیازمند اطلاعات مکانی، جهت آمادگی در برابر خطرات و کاهش روند آنها می‌باشد. در این زمینه ارزیابی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در منطقه ای که به دلیل وضعیت جغرافیایی و ساخت و سازهای انسانی مستعد لغزش می‌باشد ضروری می‌نماید. در این مطالعه، سد قلعه‌چای، واقع در حوضه آبریز قلعه‌چای به صورت موردی انتخاب شده است. با توجه به وجود زمین‌لغزش‌های قدیمی در منطقه، که می‌بایست در مرحله شناسایی و مطالعه اولیه سد مورد توجه قرار می‌گرفت، اهمیت کافی داده نشده است و در اثر آب‌گیری سد، باعث افزایش فشار آب منفذی بر پنجه زمین‌لغزش قدیمی منطقه و کاهش مقاومت برشی مواد انباشته در پنجه شده است، که به تبع آن وقوع زمین‌لغزش‌های جدید را بر روی زمین‌لغزش قدیمی در منطقه سبب شده است. استمرار حرکات تکیه‌گاه راست سد در انتهای مخزن سد، می‌تواند باعث انباشته شدن سد از نهشته‌ها شود که طول عمر سد را بسیار کاهش خواهد داد. همچنین ادامه حرکات تکیه‌گاه چپ سد در میانه مخزن سد می‌تواند فاجعه بار باشد (سرتیپی، ۲۰۱۱).

طی سال‌های متمادی مطالعات زیادی در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. (سارولی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱)، با استفاده از روش رگرسیون خطی<sup>۲</sup> به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در کشور کره پرداخته است که نتایج نشان داد که این روش نتایج نسبتاً مناسبی دارد.

کامپ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، با تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش بر پایه GIS در کشمیر، بعد از بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و همچنین زلزله بوجود آمده در ۲۰۰۵ به این نتیجه رسیدند که، در این منطقه عامل لیتولوژی مهمترین عامل مؤثر بر زمین‌لغزش بوده و بعد از آن به ترتیب عامل گسل، رودخانه و جاده‌ها مؤثر بوده است. همچنین بیشتر زمین‌لغزش‌ها در دامنه جنوبی این حوضه رخ داده است. یلسین<sup>۴</sup> (۲۰۰۸)، در ناحیه آردیس ترکیه پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین‌لغزش را با استفاده از فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (AHP) و شاخص آماری (WI) و عامل وزنی (WF) انجام داد. بعد از وزن‌دهی نقشه‌های عامل به این نتیجه رسید که ۹۸٪ از زمین‌لغزش‌های منطقه، در مناطق به شدت هوازده رخ داده است و همچنین مدل AHP، ۸۱/۳٪، روش شاخص وزنی ۶۲/۵٪ و روش فاکتور وزنی ۶۸/۸٪ از زمین‌لغزش‌های منطقه را پوشش داده است و به این نتیجه رسید که روش سلسله مراتبی، تصویر واقعی از توزیع زمین‌لغزش‌ها را بمراتب بهتر از سایر روش‌ها نشان می‌دهد. چاو<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۲)، به تحلیل خطر زمین‌لغزش در شهر هنگ کنگ با استفاده از GIS و زمین‌لغزش‌های صورت گرفته پرداختند. نتایج نشان میداد تلفات و مضرراتی که زمین‌لغزش‌ها سبب شدند، با تجمع بارندگی در هنگ کنگ افزایش یافته و همبستگی شدیدی مابین داده‌های بارندگی و نتایج زمین‌لغزش‌ها نشان داده شد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را برای شهر مذکور با استفاده از داده‌های تاریخی تهیه نمودند و به طور بالقوه، GIS را برای خطر

1-Sarolei

2-Liner Regression Modeling

3-Kamp

4-Yalcin

5-Chau

زمین لغزش و نقشه‌های خطر جهت انجام محاسبات رستری مورد استفاده قرار دادند. آیالیوو همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۵)، از دو روش سلسله مراتب رگرسیون لجستیک برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در جزیره سادو<sup>۲</sup> در ژاپن استفاده کردند و با مقایسه این دو روش برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به این نتیجه رسیدند که مدل AHP نسبت به مدل رگرسیون لجستیک از دقت بالاتری برخوردار است. در داخل کشور نیز مطالعات زیادی در این زمینه انجام گرفته است از جمله: روستایی (۱۳۸۳)، به بررسی دینامیک لغزش‌های زمین و علل وقوع آنها با استفاده از روش‌های مورفومتری در حوضه اهرچای پرداخته است. حدود پنجاه مورد لغزش اتفاق افتاده در حوضه اهرچای با استفاده از روش‌های مورفومتری، تحلیل مورفولوژیکی شده است و در نهایت به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه مذکور با استفاده از مدل آنبالاگان اقدام نموده است. جعفرخالو و همکاران (۱۳۸۴)، به بررسی وضعیت ساختگاه سد از نظر وقوع زمین لغزش احتمالی در مخزن و آنالیز پایداری زمین لغزش مذکور با استفاده از نرم‌افزار Slide 2003 در سه حالت خشک، اشباع و پس از آبیگری و با در نظر گرفتن ضریب زلزله به میزان 0/2g پرداختند. این بررسی نشان داد که زمین لغزش مذکور پس از آبیگری مخزن به حالت پایدارتری می‌رسد، اما خطر بالقوه فعالیت مجدد آن در هنگام تخلیه سریع و یا با تغییرات تراز آب مخزن بویژه در هنگام زلزله وجود دارد. نیازی و همکاران (۱۳۸۹)، در پژوهشی به ارزیابی کارایی مدل آماری دو متغیره، در پیش بینی خطر زمین لغزش در حوزه سد ایلام پرداختند. با استفاده از سه روش تراکم سطح، ارزش اطلاعاتی، و وزن متغیرها نقشه خطر زمین لغزش تهیه گردید. نتایج بدست آمده از ارزیابی مدل آماری دو متغیره، نشان داد که روش‌های تراکم سطح، وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی به ترتیب بیشترین دقت را در تفکیک کلاس‌های خطر زمین لغزش داشته‌اند. مقدار شاخص جدا کردن کلاس‌های خطر در روش تراکم سطح، وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی به ترتیب ۲/۶، ۱/۷، و ۱/۱۲ بوده است. عظیمپور و همکاران (۱۳۸۷)، با استفاده از مدل AHP<sup>۳</sup> به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، در حوضه آبریز اهرچای پرداختند. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که عوامل زمینشناسی نظیر سنگشناسی، شیب، گسل و... (به ترتیب) بیشترین نقش و عوامل انسانی کمترین نقش (وزن) را در وقوع زمین لغزشها داشته‌اند. نامبرده همچنین نقشه خطر زمین لغزش را در سه گروه زیاد، متوسط و کم تهیه کرده است.

بهشتیراد و همکاران (۱۳۸۸)، جهت پهنه‌بندی زمین لغزش در حوزه آبخیز معلم کلایه، به بررسی کارایی مدل فاکتور اطمینان<sup>۴</sup> (CF) پرداختند. ۵۰ مورد حرکت توده ای به طور تصادفی انتخاب و با بررسی آنها، عوامل ۹ گانه، زمین‌شناسی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از راه، فاصله از رودخانه و آبراهه، طبقات ارتفاعی، کاربری اراضی و طبقات بارش بعنوان عوامل مورد شناسایی و لایه‌های اطلاعاتی آنها تهیه گردید. بخشی از حوضه با خصوصیات مشابه کل حوزه آبخیز معلم کلایه به عنوان شاهد جدا گردید. لایه‌های اطلاعاتی ۹ گانه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌های حوضه اصلی در محیط ARCGIS قطع داده شد و پس از محاسبه CF عوامل ۹ گانه نقشه

1- Ayalew et al

2- Sado

3- Analytical Hierarchy process

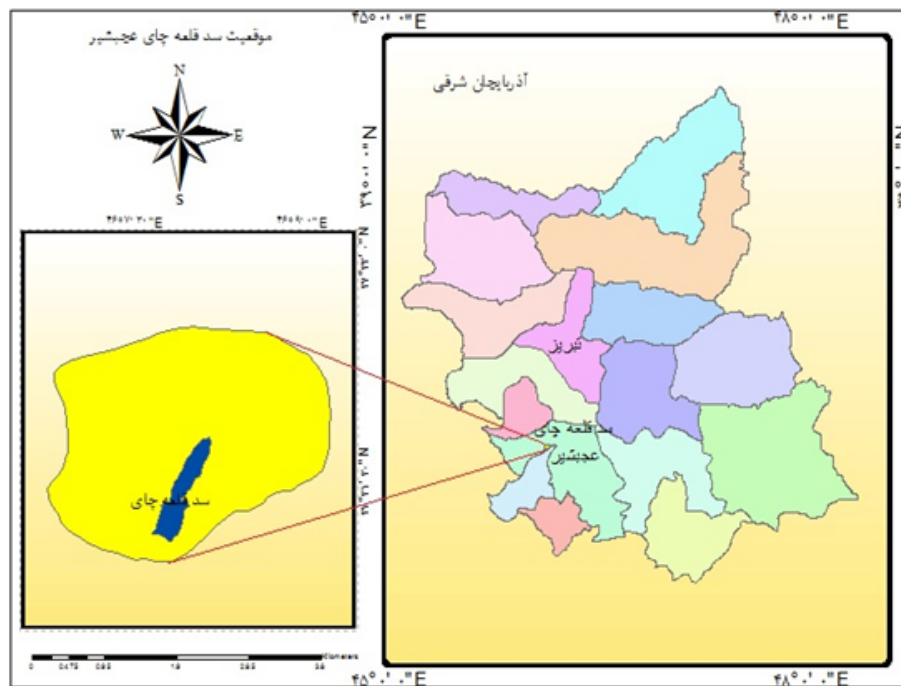
4- Certainty Factor

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای حوضه اصلی و شاهد تهیه شد. ارزیابی مدل با دو روش ضریب همبستگی<sup>□</sup> و روند توزیع کلاس‌های خطر انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد مدل فاکتور اطمینان برای حوزه آبخیز معلم کلایه مناسب می‌باشد. بقاءدشتکی و همکاران (۱۳۸۹)، به منظور بررسی فرایند زمین‌لغزش در محدوده مخزن و همچنین تأثیر انحلال لایه‌های نمکی بر لغزش، ویژگی‌های مهندسی مصالح غالب سازنده توده‌های سنگی را با استفاده از آزمایش‌های مکانیک سنگ تعیین نمودند. نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده، بر روی نمونه‌های سنگ بکر و روش GIS برای برآورد پارامترهای مهندسی توده سنگ استفاده شد. از طرف دیگر برای تعیین تأثیر انحلال لایه‌های نمکی بر لغزش، نمونه‌هایی از نمک به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از روش سیرکولاسیون میزان انحلال‌پذیری آن در شرایط مختلف بررسی و نتایج به شرایط مخزن تعمیم داده شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که لغزش‌ها در محدوده مخزن بیشتر کم‌عمق هستند و تحت تأثیر انحلال لایه نمکی ایجاد می‌شوند.

آذرمی‌عربشاه و همکاران (۱۳۹۰)، ناپایداری‌های دامنه‌های مشرف به مخزن سد و نیاررا بعد از آگیری سد مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور نقشه زمین‌شناسی مهندسی محدوده سد تهیه شده و خصوصیات رخنمون‌های سنگی و آبرفتی براساس طبقه‌بندی GIS و بر اساس اطلاعات گمانه‌های اکتشافی برآورد گردیده است. سپس پایداری تک‌تک دامنه‌های مشرف به مخزن سد با استفاده از نرم‌افزار Slide 5.0 در شرایط بعد از آگیری و وقوع زمین‌لرزه‌های مبنا طراحی، ارزیابی گردیده و بر مبنای آن نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دامنه‌های پیرامون مخزن سد تهیه شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که حدود ۵۰٫۵ درصد سطح دامنه‌ها در رده ناپایدار، حدود ۱۹٫۵ درصد سطح دامنه‌ها در رده نسبتاً ناپایدار و ۸۰ درصد در رده پایدار قرار دارند. سرتیبی و انتظام (۱۳۹۱)، به بررسی زمین‌لغزش‌های وقوع یافته در ساختگاه سد قلعه چای عجب‌شیر، بر پایه داده‌های زمین‌شناسی پرداختند. بنابراین هدفی که از این پژوهش دنبال می‌شود، تعیین مناطق مستعد زمین‌لغزش در محدوده محور و مخزن سد قلعه‌چای عجب‌شیر و شناسایی عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش‌های محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

### معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، محدوده محور و مخزن سد قلعه‌چای، بخشی از حوضه آبخیز قلعه‌چای از شبکه‌های زهکشی شعاعی ارتفاعات آذرین سهند می‌باشد که پس از زهکشی محیط پیرامون خود، به دریاچه ارومیه می‌ریزد. شاخه اصلی رودخانه قلعه چای بطول تقریبی ۶۰ کیلومتر از ارتفاعات ۳۴۱۲ متری (کوه میدان داغ) سرچشمه گرفته و به رقوم ۱۲۷۰ متر در دشت عجب‌شیر ختم می‌شود (احمدزاده، ۱۳۸۴: ۴۳) سد مخزنی قلعه چای بر روی شاخه اصلی رودخانه منطبق بر مختصات جغرافیایی "37°31'06" عرض شمالی و "46°07'37" طول شرقی در ۳۵ کیلومتری شمال خاوری شهرستان عجب‌شیر به مساحت ۸/۱۳۴ کیلومتر مربع و محیط ۱۱۰۲۴/۴۸ متر قرار گرفته است. این سد خاکی در سال ۱۳۸۰ شروع به اجرا و در سال ۱۳۸۸ آگیری شد. روستای ینگجه در بالادست سد قرار گرفته است. محل سد در مسیر زهکشی رودخانه به نسبت بزرگ که از تلاقی چندین رودخانه و بهم پیوستن آنها، احداث شده است شکل (۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

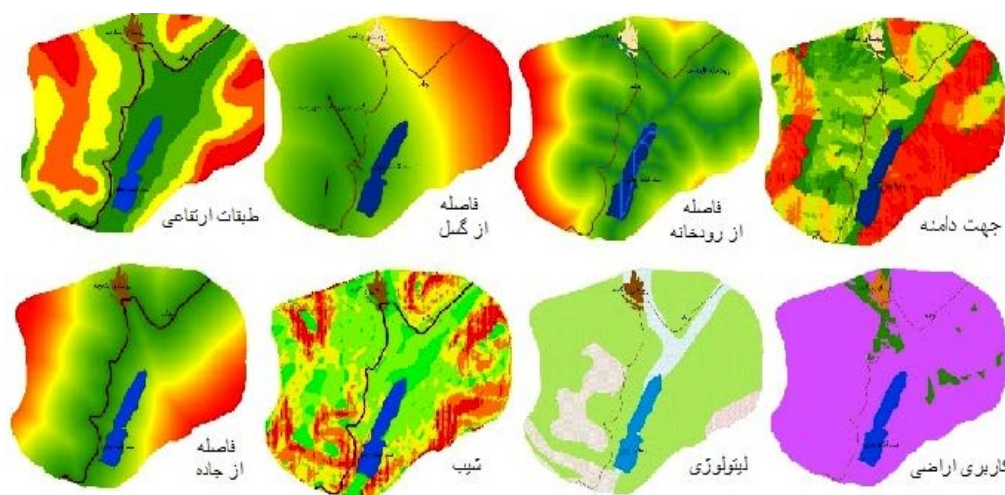
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

## مواد و روش‌ها

این تحقیق از نظر نوع، جز تحقیقات کاربردی-تجربی و از نظر روش، جز تحقیقات توصیفی-تحلیلی است. روش کار بر مبنای تجزیه، تحلیل معیارها در محیط نرم‌افزار Super Decision و سپس همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار ARCGIS و تلفیق مدل‌های وزن‌دهی معیار از جمله مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) و شاخص همپوشانی است. ابتدا با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، اعم از مطالعه متون مرتبط با موضوع، بررسی تحقیقات پیشین و طرح‌های انجام شده و استفاده از نظرات متخصصان در این زمینه و معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه در برابر زمین‌لغزش شناسایی شد و حدود ۸ معیار انتخاب شد. سپس لایه‌های اطلاعاتی مربوط به معیارهای منتخب تهیه شد.

## معیارها

جهت بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش هشت فاکتور شیب، جهت دامنه، لیتولوژی، کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده به عنوان عوامل و فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه تشخیص داده شدند و لایه‌های مربوط به معیارها در محیط ARCGIS تهیه شدند. شکل (۲) نقشه‌های عوامل (معیارها) مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه را نشان می‌دهد.

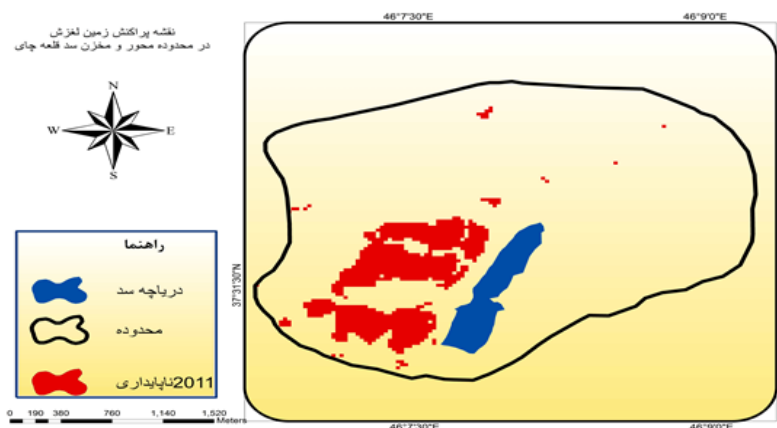


شکل ۲: نقشه‌های فاکتورهای منتخب در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه  
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

### پراکنش زمین‌لغزش‌ها

نقشه پراکنش زمین‌لغزش، مجموعه‌ای از زمین‌لغزش‌های رخ داده در یک ناحیه مشخص می‌باشد که سبب نوعی آگاهی و بصیرت، در مورد مکان‌های وقوع زمین‌لغزش، اطلاعات، نوع و خسارت‌های آنها می‌شود (Van Western et al, 2008: 29).

معمولاً زمین‌لغزش‌ها به صورت ناحیه‌ای و یا اشکال نقطه‌ای ظاهر می‌شوند. در صورت وجود عکس هوایی و یا تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا، زمین‌لغزش‌ها می‌توانند به صورت مناطق پهنه‌ای شکل بگیرند. در ناحیه مورد مطالعه، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها به صورت پهنه لغزشی بر اساس تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۱ تهیه شده است، مساحت پیکسل‌های لغزشی منطقه حدود ۰/۷۹ کیلومتر مربع می‌باشد که حدود ۹/۷۱ درصد مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. شکل (۳) پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه را نشان می‌دهد.



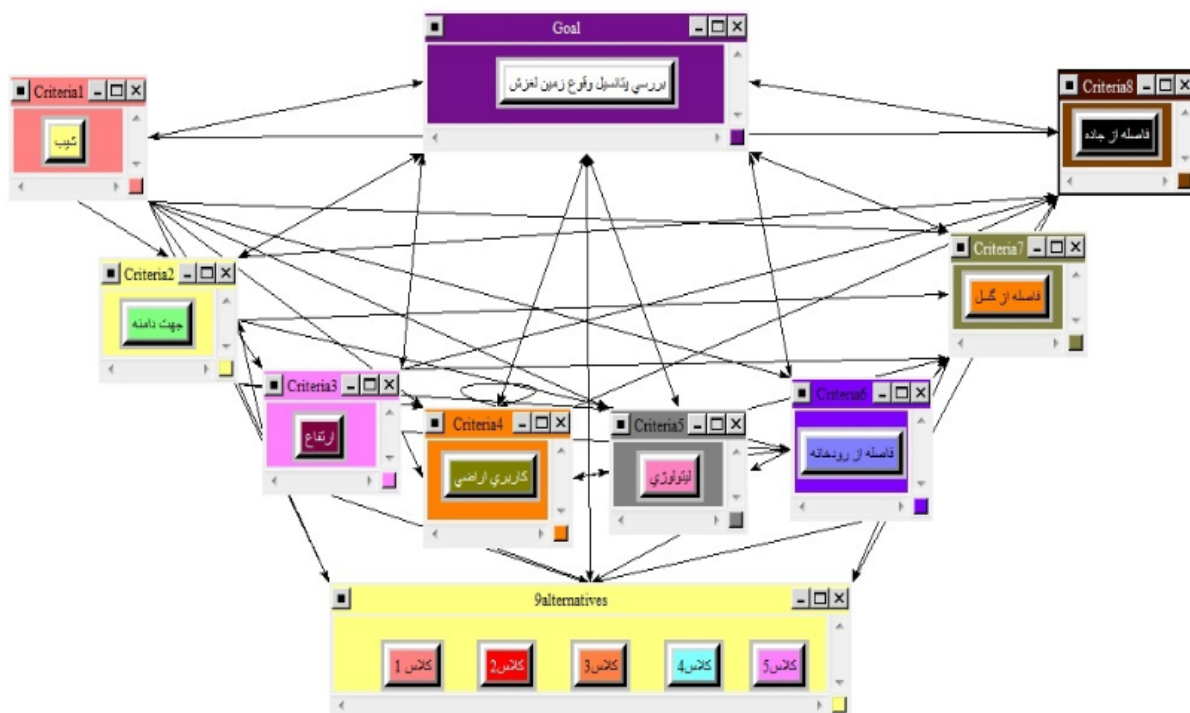
شکل ۳: پراکنش زمین‌لغزش‌ها  
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

### پردازش فرایند تحلیل شبکه‌ای ANP برای شناسایی مناطق مستعد خطر

طی سال‌های متمادی روش ANP یک روش فراگیر و چند منظوره تصمیم‌گیری است که به صورت گسترده‌ای در حل مسائل تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. ANP یک قالب کلی را ایجاد می‌کند که در آن به وابستگی عناصر بین خودشان تاکید می‌کند. این مدل برای پر کردن خلا عدم ایجاد ارتباطات بین عناصر و معیارها در مدل سلسله مراتبی به وجود آمد و اساس آن شکل‌دهی شبکه‌ای از ارتباطات و وابستگی‌ها و پیوندها بین عناصر و خوشه‌ها است. اگرچه فرایند تجزیه و تحلیل شبکه‌ای نیز یک مقیاس اندازه‌گیری نسبی مبتنی بر مقایسات زوجی را به کار می‌برد، اما مانند فرایند تحلیل سلسله مراتبی یک ساختار اکیداً سلسله مراتبی را تحمیل نمی‌کند، بلکه مساله تصمیم‌گیری را با به کارگیری دیدگاه سیستمی توأم با بازخورد مدل‌سازی می‌کند (ساعتی، ۲۰۰۵). مدل ANP از سلسله مراتب کنترل، خوشه‌ها، عناصر، روابط متقابل بین خوشه‌ها و عناصر تشکیل می‌شود. فرایند مدل‌سازی شامل مراحل است که در زیر به آن اشاره می‌شود.

#### مراحل کلی فرایند تحلیل شبکه‌ای:

- تعیین شاخص‌ها و معیارها و گزینه‌ها.
  - دسته‌بندی معیارها در خوشه‌ها و عناصر.
  - تعیین ارتباطات بین خوشه‌ها، عناصر و گزینه‌ها.
  - مقایسات زوجی بین خوشه‌ها، عناصر و گزینه‌ها.
  - تشکیل ابرماتریس غیروزنی، وزنی و حدی.
  - محاسبه وزن نهایی عناصر و گزینه‌ها.
- در این تحقیق یک مدل شبکه‌ای سه لایه متشکل از لایه هدف، لایه معیارها و لایه گزینه‌ها با توجه به مسأله تحقیق طراحی و سازماندهی شده است. طراحی شبکه مورد نظر از چندین مرحله تشکیل شده بود:
- مرحله اول:** هدف و موضوع مورد مطالعه بود. یعنی باید یک موضوع و هدفی تعیین می‌شد تا فرایند ارزش‌یابی و انتخاب بهترین گزینه برای این هدف صورت گیرد. بررسی پتانسیل زمین‌لغزش به عنوان هدف این مطالعه برای لایه نخست طراحی گردید.
- مرحله دوم:** وجود معیارها و شاخص‌هایی بود که برای ارزش‌یابی موضوع انتخاب می‌گردید و معیارهای تحقیق نیز، فاکتورهای تأثیرگذار در وقوع لغزش‌های منطقه بودند که در خوشه‌های جداگانه برای لایه دوم طراحی شدند.
- کلاس‌ها یا گزینه‌های مورد نظر بر اساس طبقات خطر در یک خوشه جداگانه در لایه سوم قرار گرفتند.
- پس از طراحی مدل، ایجاد ارتباطات بین عناصر و خوشه‌ها انجام گرفت لازم به ذکر است که این فرایند در محیط نرم‌افزار SUPERDECISION انجام گرفت. شکل (۴) ساختار شبکه‌ای مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۴: ساختار شبکه‌ای مدل  
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

### مقایسه زوجی بین خوشه‌ها

در این مرحله معیارهای کنترلی و خوشه‌ها با هم مقایسه شدند. در مقایسه‌ی خوشه‌ها، یک خوشه به عنوان خوشه‌ی اصلی انتخاب شده و سپس ارجحیت سایر خوشه‌هایی که با آن مرتبط هستند نسبت به هم و در مقایسه با خوشه اصلی مقایسه شدند (محمدی‌لرد، ۱۳۸۱: ۵۵). در تحقیق حاضر مقایسه زوجی به سبک پرسشنامه‌ای انجام یافت. در حدود ۱۴۳ مورد مقایسه زوجی بین خوشه‌ها صورت گرفت. پس از انجام مقایسه، برای مشاهده نتایج مقایسه‌ها میزان نرخ ناسازگاری آنها بررسی شد. نرخ ناسازگاری قضاوت انجام شده برای نمونه برابر با ۰/۰۸۶۷ بوده و کمتر از ۰/۱ بود. در این روش میزان نرخ ناسازگاری نباید بیشتر از ۰/۱ باشد که این میزان از خطا با توجه به تعداد زیاد قضاوت‌ها قابل قبول می‌باشد.

### مقایسه زوجی درون خوشه‌ها

در داخل هر خوشه مجموعه‌ای از معیارها قرار دارند که عناصر خوشه‌ها با هم مقایسه شدند، مقایسه عناصر هر خوشه شبیه روش AHP و مقایسه دودوئی ساعتی<sup>۱</sup> است. در حدود ۹۳ مورد مقایسه عناصر درون خوشه صورت گرفت. برای انجام مقایسه بین عناصر درون خوشه‌ها مثل روش مقایسه زوجی بین خوشه، نسبت به معیار کنترلی، هر



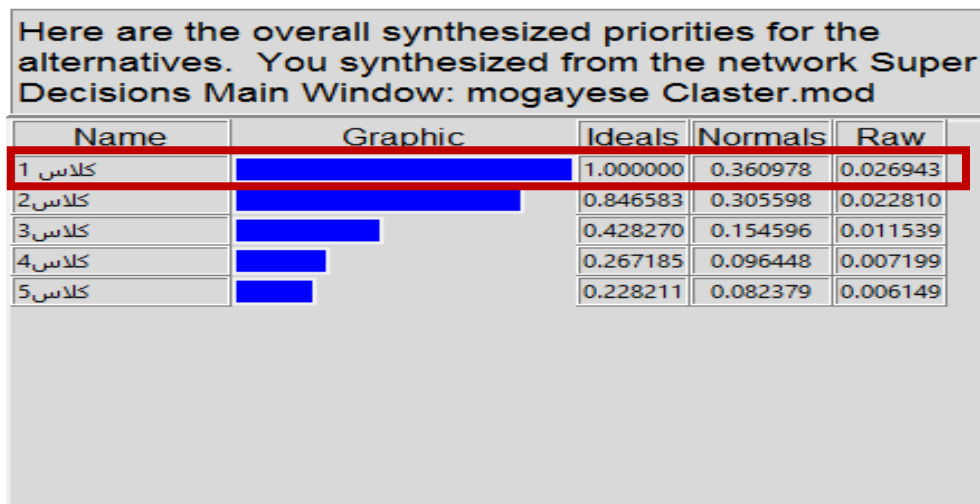
معیار نسبت به معیار دیگر از نظر اهمیت و ارجحیت مورد مقایسه قرار گرفت میزان نرخ ناسازگاری بدست آمده برای قضاوت انجام شده برابر با  $0/0238$  بوده و کمتر از  $0/1$  را نشان داد.

### تشکیل سوپرماتریس غیر وزنی، وزنی، حدی

پس از محاسبات طولانی، ضریب و ارزش نهایی هر عنصر و گزینه تعیین شد. برای محاسبه ضریب نهایی، سه نوع ابرماتریس مورد محاسبه قرار گرفت:

- - ابرماتریس غیر وزنی
- - ابرماتریس وزنی
- - ابرماتریس حدی

این سه نوع ماتریس در ارتباط با یکدیگر مورد محاسبه و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و در نهایت نتیجه کلی بدست آمد. بر اساس نتایج مدل رگرسیون لجستیک انجام گرفته در تحقیق اهمیت کلاس‌های خطر معرفی شده به مدل تحلیل شبکه (ANP)، تحت عنوان لایه گزینه‌ها تعیین شد (خدائی، ۱۳۹۲: ۱۳). شکل (۵) نتایج اهمیت کلاس‌ها را بر اساس اولویت و اهمیت آنها از نظر خطر وقوع زمین لغزش نشان می‌دهد.



شکل ۵: میزان اهمیت کلاس‌ها

مأخذ: نگارندگان

### همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی و پیاده‌سازی مدل

برای پیاده‌سازی مدل در محدوده مورد مطالعه، پایگاه داده‌های مکانی ایجاد شد و براساس شاخص‌های تعیین شده لایه‌های مختلف اطلاعاتی مورد نیاز در پایگاه داده قرار گرفتند. سپس با توجه به نیازهای اطلاعاتی و تحلیلی، فرآیند مدل‌سازی فضایی روی داده‌ها انجام شد. در مرحله بعد لازم بود تا لایه‌های اطلاعاتی با هم ترکیب شوند، لذا پس از بدست آمدن ضرایب فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش منطقه، این ضرایب بر روی لایه‌های اطلاعاتی اعمال گردید. جدول (۱) ضرایب حاصل از فرآیند تحلیل شبکه را نشان می‌دهد.

جدول ۱: ضرایب حاصل از فرآیند تحلیل شبکه‌ای

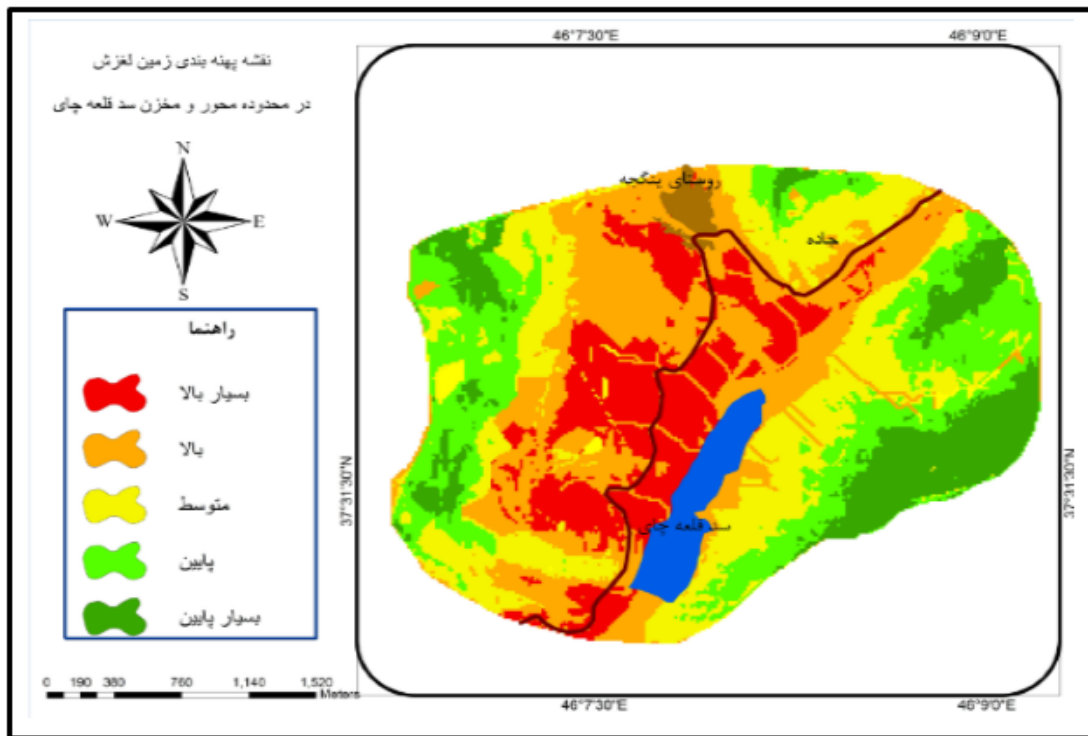
| ضرائب    | معیارها          | علائم اختصاری برای معیارها |
|----------|------------------|----------------------------|
| ۰/۰۷۲۶۲۳ | شیب              | X <sub>1</sub>             |
| ۰/۰۹۸۵۶۰ | جهت شیب          | X <sub>2</sub>             |
| ۰/۰۸۵۲۱۳ | طبقات ارتفاعی    | X <sub>3</sub>             |
| ۰/۱۳۶۶۷۵ | کاربری اراضی     | X <sub>4</sub>             |
| ۰/۰۷۰۴۶۴ | لیتولوژی         | X <sub>5</sub>             |
| ۰/۰۴۰۷۰۹ | فاصله از رودخانه | X <sub>6</sub>             |
| ۰/۰۶۲۹۴۲ | فاصله از غسل     | X <sub>7</sub>             |
| ۰/۰۶۳۷۵۱ | فاصله از جاده    | X <sub>8</sub>             |

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

پس از اعمال ضرایب بر روی فاکتورها، اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش براساس مدل تحلیل شبکه‌ای در محیط ArcGIS گردید. نقشه فوق در ۵ کلاس خطر بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین، بسیار پایین طبقه‌بندی شد. شکل (۶) نقشه پهنه‌بندی شده به روش تحلیل شبکه (ANP) را نشان می‌دهد. پس از اجرای روش مذکور، مدل پیشنهادی به صورت معادله (۱) ارائه گردید:

معادله ۱:

$$ANP = Slope \times 0.072623 + Aspect \times 0.098560 + Dem \times 0.085213 + Landuse \times 0.136675 + Litology \times 0.070464 + Distance\ to\ river \times 0.040709 + Distance\ to\ Fault \times 0.062942 + Distance\ to\ Road \times 0.06375$$



شکل ۶: نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش تحلیل شبکه در محور و مخزن سد قلعه‌چای  
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

پس از انجام پهنه‌بندی زمین‌لغزش، درصد پهنه‌های لغزشی در هر کلاس محاسبه شد. نتیجه نشان داد که در مناطقی با خطر بسیار پایین و بسیار بالا کمترین درصد از میزان مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند در حالیکه مناطقی با خطر بالا بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است. جدول (۲).

جدول ۲: مساحت پهنه‌های لغزشی به درصد

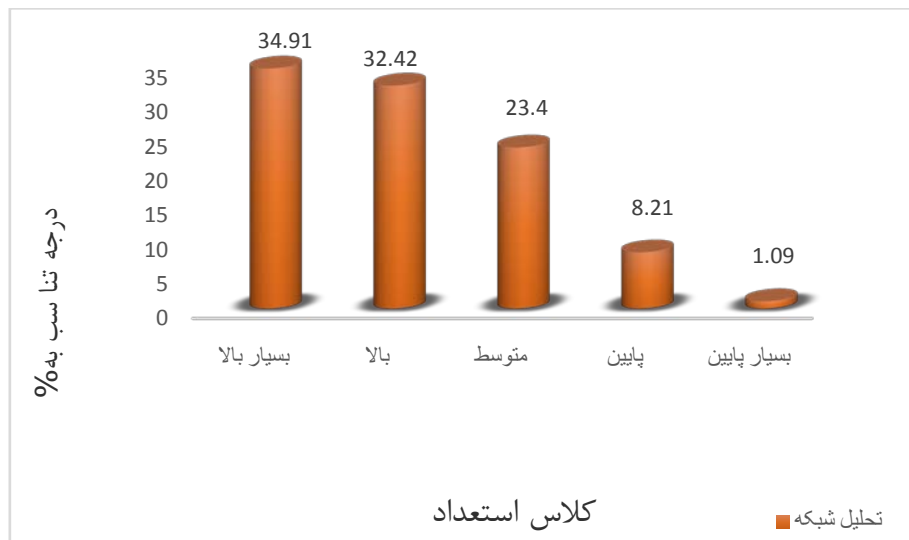
| کلاس        | مساحت به درصد |
|-------------|---------------|
| بسیار بالا  | ۱۶/۲۹         |
| بالا        | ۳۲/۴۶         |
| متوسط       | ۲۱/۳۹         |
| پایین       | ۱۸/۴۰         |
| بسیار پایین | ۱۱/۴۴         |

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

### ارزیابی روش تحلیل شبکه با پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه

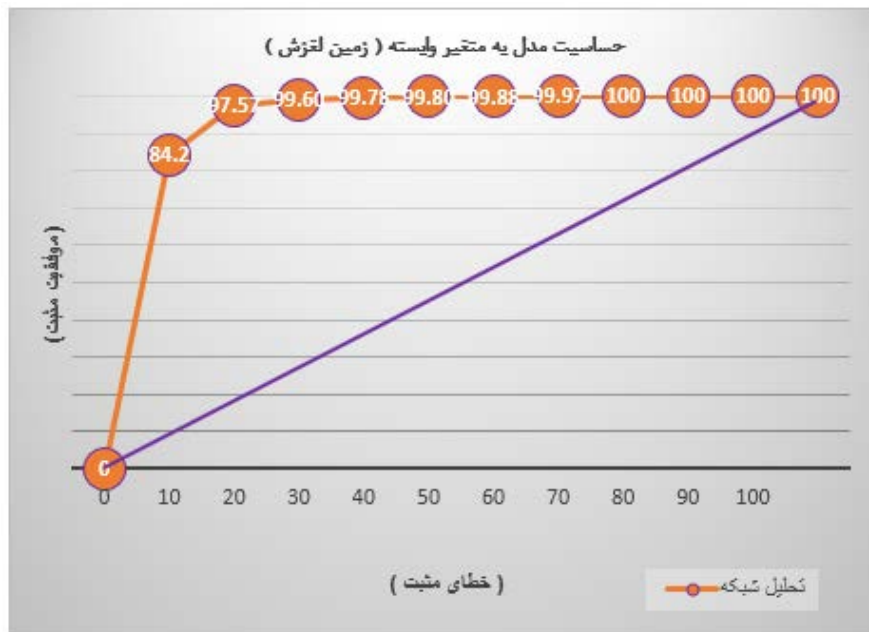
جهت ارزیابی عملکرد تحلیل شبکه (ANP) در تعیین مناطق مستعد خطر زمین‌لغزش از درجه تناسب بین نقشه پهنه‌بندی (شکل ۶) و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها (شکل ۳) استفاده گردید (Cabral, 2011: 53). همانطور که

شکل (۷) نشان می‌دهد مقدار خطای نسبی (حاصل جمع ارزش‌های دو کلاس خطر پایین و بسیار پایین) برای تحلیل شبکه برابر با ۹/۳٪ می‌باشد در حالیکه مقدار موفقیت نسبی (حاصل جمع ارزش‌های دو کلاس خطر بالا و بسیار بالا) برابر با ۶۷/۳۳٪ می‌باشد.



شکل ۷: درجه تناسب بین نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها  
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

همچنین برای استحکام بخشیدن به نتیجه بدست آمده از اجرای روش از تجزیه و تحلیل منحنی راک) استفاده شد (Cabral, 2011: 54). منحنی راک تحلیل‌های مبتنی بر احتمال، آمار (تحلیل‌های مبتنی بر طبقه‌بندی آماری) می‌باشد به عبارتی دیگر میزان موفقیت مدل نسبت به خطای مدل است. منحنی راک بیان‌کننده حساسیت مدل نسبت به متغیر وابسته (زمین‌لغزش) می‌باشد. هر قدر فاصله مدل بدست آمده از خط برازش بیشتر باشد میزان موفقیت به همان میزان بیشتر می‌باشد. همچنین مقدار عددی منحنی راک با ارزش عددی ۰/۹۷ نیز نشان‌دهنده برازش خوب این مدل برای تحقیق حاضر می‌باشد. شکل (۸) نمودار بدست آمده از تجزیه و تحلیل منحنی راک برای تحلیل شبکه را نشان می‌دهد.



شکل ۸: نمودار منحنی Roc برای تحلیل شبکه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

## نتیجه

در بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش، روش تحلیل شبکه برای اولین بار مورد استفاده قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد. از میان هشت فاکتور مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه با توجه به تفسیر ضرایب بدست آمده در جدول (۲) عامل کاربری اراضی، جهت دامنه، طبقات ارتفاعی بیشترین تأثیر را داشته‌اند. پس از بدست آمدن ضرایب فاکتورهای مؤثر در زمین لغزش منطقه، اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش براساس مدل تحلیل شبکه‌ای گردید. بدین منظور ابتدا در محیط ArcGIS لایه‌های اطلاعاتی که از قبل تهیه و رقومی شده بودند به فرمت رستری یا شبکه‌ای تبدیل گشته و سپس طبقه‌بندی مجدد شدند و در نهایت ضرایب بدست آمده از مدل تحلیل شبکه‌ای ANP بر روی لایه‌های اطلاعاتی فوق اعمال گردید و در نهایت نقشه پهنه‌بندی حاصل از مدل تحلیل شبکه‌ای بدست آمد. نقشه فوق در ۵ کلاس خطر بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین، بسیار پایین طبقه‌بندی شده است، با توجه به نقشه حاصل از اجرای مدل مشاهده می‌گردد که بیشترین لغزش‌ها در شیب‌های شرقی و جنوبی و در ارتفاع ۱۷۴۱ تا ۱۸۸۶ متر به وقوع پیوسته است که تحت تأثیر پوشش سازند میلا و زایگون می‌باشند و در سال‌های اخیر فعالیت‌های انسانی از جمله جاده‌سازی و سایر ساخت و سازهای انسانی و کشت دیم در منطقه افزایش داشته است. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده در شکل (۵) در بین کلاس‌های خطر، کلاس ۱ بیشترین اهمیت را از نظر وقوع خطر زمین لغزش با توجه به وزن ایده‌آل<sup>۲</sup> داراست. این کلاس در نقشه پهنه‌بندی تحت عنوان کلاس خطر بسیار بالا معرفی شد و سپس به ترتیب از میزان اهمیت کلاس‌ها و خطرپذیری آنها کاسته می‌شود به طوریکه کلاس ۵ دارای کمترین

میزان خطر پذیری و اهمیت می‌باشد و در نقشه پهنه‌بندی عنوان کلاس خطر بسیار پایین را به خود اختصاص داده است. همچنین ارزیابی نتایج مدل از طریق قطع دادن نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها با نقشه‌های پهنه‌بندی به صورت درجه تناسب مدل با توجه به نتایج شکل (۷) نشان داد که مقدار خطای نسبی به ترتیب برابر با  $9/3\%$  و میزان موفقیت نسبی برابر با  $67/33\%$  می‌باشد. مقدار عددی منحنی راک (شکل ۸) با ارزش عددی  $0/97$  نیز نشان دهنده برآزش خوب این مدل برای تحقیق حاضر می‌باشد.

با توجه به اینکه فرآیند تحلیل شبکه برای اولین بار در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در ایران بکار گرفته شد لذا مطالعات موردی در این زمینه جهت مقایسه نتایج حاصله یافت نگردید. اما نتایج حاصل از اجرای این روش با روش‌های رگرسیون لجستیک و ارزش اطلاعاتی انجام یافته برای همین منطقه مورد مطالعه توسط خدایی (۱۳۹۲)، نشان داد که تحلیل شبکه نسبت به دو روش فوق از کارایی بهتر و مناسب‌تری برخوردار است. در مقایسه انجام گرفته مابین سه روش ذکر شده، روش تحلیل شبکه با  $67/33\%$  رگرسیون لجستیک با  $61/45\%$  و روش ارزش اطلاعاتی با  $52/21\%$  با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه تناسب داشت. همچنین در تحقیق انجام یافته توسط فرجی سبکبار و همکاران (۱۳۸۹) در زمینه مکان‌یابی محل دفن زباله‌های بهداشتی روستایی با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای نشان داد که این روش از دقت بالایی در مشخص نمودن مناطق مستعد برای دفن زباله‌ها برخوردار بوده است. لذا می‌توان از این روش برای شناسایی پهنه‌های خطر در مناطق دیگر نیز استفاده نمود. با توجه به مطالب ذکر شده، نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که روش تحلیل شبکه از عملکرد مناسب در شناسایی مناطق خطر و پهنه‌بندی آن در منطقه مورد مطالعه برخوردار می‌باشد.

## منابع

- (۱) احمدزاده، حسن (۱۳۸۴). مدل‌سازی فرسایش و رسوب حوضه آبریز قلعه‌چای عجب‌شیر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در محیط GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه تبریز.
- (۲) آذرمی‌عربشاه، رباب؛ ناصر حافظی‌مقدس؛ ابراهیم اصغری‌کلجاهی؛ خلیل ولی‌زاده‌کامران (۱۳۹۰). هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شهریور ۹۰.
- (۳) بقاءدشتکی، بهمن؛ ماشالله خامه‌چیان؛ سیدمحمدحسن نظری (۱۳۸۹). بررسی پایداری دامنه‌های سازند گچساران واقع در مخزن سد گتوند تحت تأثیر آبخیز مخزن و انحلال مصالح نمکی، مجله زمین‌شناسی مهندسی. جلد ۴ شماره ۱. بهار و تابستان. صفحات ۸۳۶-۸۰۹.
- (۴) بهشتی‌راد، مسعود؛ سادات فیض‌نیا؛ علی سلاجقه؛ حسن احمدی (۱۳۸۸). بررسی کارایی مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش فاکتور اطمینان (CF) در حوزه آبخیز معلم کلایه، فصلنامه جغرافیای طبیعی. سال دوم. شماره ۵. پاییز. صفحات ۱۹-۲۸.
- (۵) جعفرخالو، مرتضی؛ نصرالله جواهری؛ حمید باقری (۱۳۸۴). آنالیز و تحلیل پایداری زمین‌لغزش تنگ تلخ در سد مخزنی ابوالفارس، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت معلم تهران. صفحات ۱۱۳-۱۰۷.
- (۶) خدائی قشلاق، لیلیا (۱۳۹۲). ارزیابی روش‌های رگرسیون لجستیک و تحلیل شبکه در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در محدوده محور و مخزن سد مطالعه موردی: سد قلعه‌چای عجب‌شیر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه تبریز.
- (۷) روستایی، شهرام (۱۳۸۳). بررسی وقوع زمین‌لغزش در روستای نصیر آباد ورزقان (استان آذربایجان شرقی) با استفاده از روش‌های کمی. فصلنامه علوم انسانی. دوره ۸. شماره ۱.
- (۸) سرتیپی، عبدالحمید؛ ایمان انتظام‌سلطانی (۱۳۹۱). بررسی زمین‌لغزش‌های ساختگاه سد قلعه‌چای عجب‌شیر، مجله زمین‌شناسی مهندسی. سال ۹۱.
- (۹) عظیم‌پور، علیرضا؛ حسن صدوق؛ علی دلال‌اوغلی؛ محمدرضا ثروتی (۱۳۸۸). ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزه، مطالعه موردی: حوضه آبریز اهرچای، مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیای. سال نهم. شماره ۲۶. تابستان ۱۳۸۸. صفحات ۸۷-۷۱.
- (۱۰) فرجی‌سبکبار، حسنعلی؛ محمد سلمانی؛ فاطمه فریدونی؛ حسین کریم‌زاده؛ حسن حیمی (۱۳۸۹). مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله روستایی با استفاده از مدل فرایند شبکه‌ای تحلیل (ANP): مطالعه موردی نواحی روستایی شهرستان قوچان، فصلنامه مدرس علوم انسانی. دوره ۱۴. شماره ۱. صفحات ۲۳-۱.
- (۱۱) محمدی‌لرد، عبدالحمید (۱۳۸۸). فرآیندهای تحلیل شبکه‌ای در (ANP) و سلسله‌مراتبی، نشر تهران البرز فردانش.
- (۱۲) نیازی، یعقوب؛ محمدرضا اختصاصی؛ علی طالبی؛ صالح آرخی؛ محمدحسین مختاری (۱۳۸۹). ارزیابی کارایی مدل آماری دو متغیره، در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در حوزه‌ی سد ایلام، مجله علمی و پژوهشی. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال ۴. شماره ۱۰. صفحات ۲۰-۹.

- 13) Ayalew. L .Yamagishi.H (2005). Theapplication of GIS-based logistic regression forlandslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology* 65 (1-2): 15-31.
- 14) Cabral .P. B. C (2011). *Landslide Susceptibility Assessment in Karanganyaar Regency-Indonesia*. UniversidadeNova de Lisboa, February, 2011.
- 15) Chau. K.T. Sze .Y.L .M.K. Fung .W.Y. Wong .E.L. Fong .L.C.P (2003)." Landslide hazard analysis for HongKongusing landslide inventory and GIS K.T."Computers & Geosciences 30. (2004). PP:429–443.
- 16) intangible criteria and for decision making; Multiple CriteriaDecision, Analysis: State of The ArtSurveys, Edited by Jose Figueira et.al.
- 17) Kamp. U. Growley. B. Khattak. G &Owen. L (2008) GIS – based landslid susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. *Journal of Geomorphology* 101. (2008).631-642.
- 18) Saaty, L. T.; An analytical hierarchy and network processes approach for themeasurement
- 19) Sarolee. K. M (2001). Statistical Analysis of landslide susceptibility at yonging, Korea", *Environmental Geology*, 40, PP: 1095-1113.
- 20) Van Western. CJ. Castellanos E.Kuriakose. SL (2008). Spatialdata for Landslid susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview . *Engineering Geology* 102: 112–131.
- 21) Yalcin. A (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchyprocess and bivariate statistics in Ardesen (Turkey). "Comparisons of results and confirmations, *Catena* 72. (2008). 1–12.